

Protocolos para Redes Inalámbricas de Tiempo Real: Simulaciones y Ensayos Experimentales

Omar Alimenti, Guillermo Friedrich, Guillermo Reggiani, Ricardo Cayssials, Christian Galasso,
Damián Gomez de Marco, Federico Maidana y Santiago Tonietti

Grupo de I+D en Sistemas y Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (Grupo SiTIC)
Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Bahía Blanca –
Departamento de Ingeniería Electrónica
11 de Abril 461
(8000) Bahía Blanca

*iealimen@criba.edu.ar, {gfried, ghreggiani}@frbb.utn.edu.ar, {rcayssials,
christian_galasso81}@yahoo.com.ar, {damiangomezdemarco}@gmail.com,
{fedemaidana_mail}@yahoo.com.ar, stonietti@gmail.com*

Resumen

En el estudio de distintas propuestas tendientes a mejorar los protocolos de redes de datos, la simulación es una técnica muy valiosa para la evaluación del desempeño. El simulador Network Simulator ns-2 [1] es uno de los referentes utilizados en los trabajos de investigación en el campo de las redes de datos.

Por otra parte, para la implementación práctica de los mecanismos desarrollados, se requiere de hardware específico para tal fin.

La idea básica consiste en que, en función de las condiciones particulares y limitaciones impuestas por el entorno de operación (restricciones temporales, calidad de servicio, robustez, etc.) se puedan mejorar determinados aspectos del desempeño de la red, tales como factor de utilización, retardo, “jitter”, pérdida de paquetes, tasa de transferencia, etc., que impactan sobre los Sistemas de Control basados en Redes (NCS).

Para la etapa experimental, inicialmente se propone trabajar sobre sistemas embebidos estándar que permitan modificar la configuración de sus parámetros y/o su programación.

En el marco de este proyecto se propone simular y ensayar esquemas experimentales en el nivel de Control de Acceso al Medio (MAC) inalámbrico, orientado a su aplicación en Sistemas de Control basados en Redes Inalámbricas (WNCS).

Palabras Clave: Redes Inalámbricas, Prioridades, NCS, Ns-2, MAC, Hardware.

Contexto

La línea de investigación presentada se encuentra inserta en el proyecto denominado; “*Redes y Protocolos para Comunicación de Datos en Aplicaciones de Instrumentación y Control: Modelado, Simulación y Desarrollos Experimentales*”. La misma se encuentra coordinada y financiada por la Facultad Regional Bahía Blanca de la Universidad Tecnológica Nacional. El proyecto está acreditado en el Programa de Incentivos.

Introducción

Las redes de tecnología inalámbrica (WLAN) presentan una alternativa a las redes de área local cableadas (LAN), ya que brindan numerosos beneficios sobre ambientes industriales. Cabe destacar la reducción de tiempo y costo de instalación, mantenimiento y modificación del cableado (evitando el impacto de ambientes agresivos sobre cables y conectores), así como la integración de sistemas móviles [2].

El campo de aplicación que se tiene como objetivo es el de los NCS [3] y en particular los WNCS, cuyas capacidades son la adquisición de información (sensores/usuarios), el comando (controladores/usuarios), el control (actuadores) y la red.

El objetivo del proyecto está orientado al “Control de la Red” [4], trabajando sobre la capa MAC, a fin de mejorar su rendimiento.

Si bien existen diversas opciones de conectividad inalámbrica, se ha fijado el interés en las redes inalámbricas de área local (WLAN) basadas en el estándar IEEE 802.11 [5] y en particular IEEE 802.11e

[6], que da soporte para implementar niveles diferenciados de calidad de servicio (QoS) para distintos tipos de aplicaciones.

Otro estándar de conectividad inalámbrica que también se analiza es el IEEE 802.15.3 [7] para redes inalámbricas de área personal (WPAN), dado que el mismo tiene un esquema mejorado para el manejo de ahorro de energía.

El trabajo está centrado en la simulación e implementación de las propuestas desarrolladas para la optimización en la operación de la capa MAC de los estándares inalámbricos de interés.

Líneas de Investigación y Desarrollo

El estándar 802.11e provee dos alternativas de acceso al medio (EDCA y HCCA) con cuatro niveles de Calidad de Servicio (QoS) diferenciados. EDCA es un esquema distribuido de control de acceso al medio, basado en CSMA/CA. El estándar 802.11e introduce el modo EDCA, que propone un mecanismo diferenciado de QoS con cuatro AC: AC_BK (Background) para niveles de prioridad más bajos (1 y 2), AC_BE (Best Effort) para los siguientes (0 y 3), AC_VI (Video) para las prioridades 4 y 5 y AC_VO (Voice) para las más altas (6 y 7).

El esquema propuesto inicialmente, denominado WRTMAC [8][9], asegura una latencia máxima para la transmisión de una trama, al no disponer de factores probabilísticos, como es el caso de EDCA.

WRTMAC se basa en el uso de un tiempo de arbitraje entre tramas de tiempo real (RIFS), de duración fija y diferente para cada nodo de la red. Se efectuaron evaluaciones analíticas de su desempeño y se obtuvieron resultados satisfactorios en determinados escenarios de aplicación [10][11].

Sobre la base de WRTMAC se implementó una adecuación del mecanismo EDCA del estándar 802.11e, denominado Real Time EDCA (RT-EDCA).

RT-EDCA actúa controlando adecuadamente la Ventana de Contención (CW), el contador de retroceso (backoff) y los espacios entre tramas para el arbitraje (AIFS) del esquema EDCA.

Para poder analizar el rendimiento de RT-EDCA se trabajó con una herramienta de simulación muy utilizada en sistemas de comunicaciones de datos: Network Simulator 2 (ns-2).

ns-2 brinda la ventaja que, además de ser un software de libre distribución, se dispone de una amplia documentación.

Este simulador es un lenguaje orientado a objetos escrito en C++ que utiliza como interface con el usuario al intérprete "Object Tool Command Language" (OTcl). Para simular el Control de Acceso al Medio - MAC 802.11e se incorporaron las librerías indicadas en [12].

La implementación completa de EDCA en ns-2 está dividida en cuatro módulos básicos. Cada módulo

contiene todas las funciones y parámetros necesarios para poder llevar a cabo en forma satisfactoria, una simulación de la capa MAC. Los módulos antes mencionados, se pueden identificar como:

- *Drop Tail*
- *Priority Queue*
- *MAC 802.11e Timers*
- *MAC 802.11e*

El módulo *MAC 802.11e Timers* permite adaptar EDCA a la propuesta de optimización RT-EDCA. Este es el módulo encargado de hacer el manejo de los temporizadores de todos los tráficos que se generen en la simulación. Maneja los tiempos de IFS (Inter-Frame Space) y la cuenta del Backoff. Además se encarga de calcular la ventana de contención en caso de que haya sucedido una colisión en el envío de un paquete o bien se haya perdido el ACK (Acknowledge), para ello usa los siguientes parámetros: CW_min, CW_max, AIFSN y el Tiempo de Ranura

Para visualizar los resultados de las simulaciones el ns-2 dispone de una salida en archivos de texto donde se indican los distintos valores de la simulación con los cuales se llevan a cabo los cálculos para obtener el tiempo de respuesta, cantidad de paquete perdidos, factor de utilización, etc. Una alternativa gráfica es el empleo del Xgraph, que constituye el entorno gráfico para las salidas que desea monitorear. Para ello es necesario incluir los cálculos de los parámetros a graficar en el código OTcl.

En la etapa experimental se está trabajando en la adaptación de sistemas embebidos comerciales para ensayar RT-EDCA. Para tal fin contamos con unos kits de desarrollo Mikrotik [13], los cuales tienen las siguientes características:

- Router BOARD 433 con CPU Atheros AR7130 300MHz.
- Router BOARD R2N 802.11b/g/n miniPCI card, con chipset Atheros AR9223.
- Router BOARD R52 802.11a/b/g dual band miniPCI card, con chipset Atheros AR5414.

Es posible ensayar RT-EDCA modificando el código de los "drivers" con licencia GPL [14] compatibles con los chipset Atheros.

Por último se está estudiando las características de ahorro de energía que ofrece el estándar IEEE 802.15.3 para poder lograr un mejor rendimiento de las baterías de los componentes de la red.

Resultados y Objetivos

La evaluación del desempeño del modelo RT-EDCA fue realizada por medio de simulaciones. Se utilizaron mensajes periódicos de pequeño tamaño similar a las tramas empleadas en los sistemas de control sobre redes inalámbricas (WNCS) [15].

En la Fig. 1 se presentan resultados comparativos obtenidos en las simulaciones, tanto para RT-EDCA como para EDCA estándar. Se observa que RT-EDCA presenta un mejor desempeño hasta 28 nodos (con paquetes de 50 bytes) y hasta 40 nodos (con paquetes de 500 bytes). A partir de allí es superado por EDCA, debido a que los valores crecientes de AIFS aumentan la duración del ciclo de transmisión de cada trama.

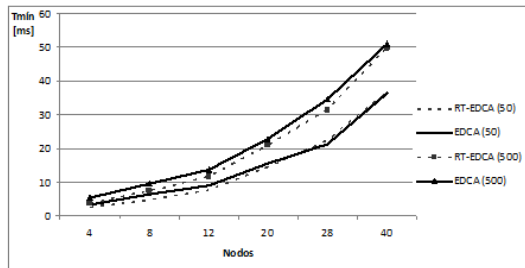


Fig. 1. Período mínimo comparativo entre RT-EDCA vs EDCA

Las características determinísticas de RT-EDCA mejoran notablemente el desempeño respecto a EDCA (hasta un cierto número de nodos) al eliminar las colisiones.

Producción del Grupo:

-“Redes Inalámbricas y Protocolos para Comunicación de Datos en Aplicaciones de Instrumentación y Control”, Omar Alimenti, Guillermo Friedrich, Guillermo Reggiani, Ricardo Cayssials, Christian Galasso, Damián Gomez de Marco, Federico Maidana y Santiago Toniatti, XIII Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación (WICC 2011), Rosario, Santa Fe, los días 5 y 6 de mayo de 2011.

-“Comunicaciones en Tiempo Real adecuando el Protocolo 802.11e (EDCA)”, Omar Alimenti, Guillermo Friedrich, Guillermo Reggiani y Santiago Toniatti, 40° Jornadas Argentinas de Informática, 12th AST 2011 Argentine Symposium on Technology, ISSN 1850-2806 pp 43-54. Córdoba, Argentina, 29/08 al 02/09 de 2011.

-“Adaptación de ns-2 para una Variante del Protocolo 802.11e (EDCA)”, G. Reggiani, O. Alimenti, G. Friedrich, F. Maidana, S. Toniatti y D. Gomez de Marco, XVII Congreso Argentino de Ciencias de la Computación - CACIC 2011 – IV Workshop de Arquitecturas, Redes y Sistemas Operativos (WARSO) 2011, pp 1056-1065, ISBN 978-950-34-0756-1, La Plata, Argentina, 10 al 14 de octubre de 2011.

-“Análisis de Generación de Supertramas en MAC 802.15.3”, G. Reggiani, L. De Pasquale, O. Alimenti y G. Friedrich, XVII Congreso Argentino de Ciencias de la Computación - CACIC 2011 – IV Workshop de Arquitecturas, Redes y Sistemas Operativos (WARSO) 2011, pp 1066-1075, ISBN 978-950-34-0756-1, La Plata, Argentina, 10 al 14 de octubre de 2011.

- “An Adjustment of EDCA Protocol for Real-Time”, O. Alimenti, G. Friedrich, G. Reggiani, F. Maidana, S. Toniatti y D. Gómez De Marco, Computing System Engineering (SBESC), 2011 Brazilian Symposium Florianopolis, Brasil, ISBN: 978-1-4673-0427-6, page 145 a 150, del 7 al 11 de Noviembre de 2011 publicado en la librería digital IEEEExplore.

Al momento de definir los objetivos de este proyecto se han tenido en cuenta las ventajas y desventajas de las redes inalámbricas, para su aplicación en los campos de interés.

La utilización de una red de comunicaciones, especialmente de tipo inalámbrico, para vincular elementos de un sistema de instrumentación y control (sensores, actuadores y controladores) introduce latencias variables y poco predecibles que, sumados a una cierta probabilidad de pérdida de paquetes, perturban en mayor o menor medida al sistema. Sin embargo, si se puede caracterizar el comportamiento de la red, será posible diseñar el sistema de control minimizando tales perturbaciones.

Como la tecnología inalámbrica brinda ventajas en cuanto a movilidad y facilidad de despliegue, y el equipamiento de comunicación inalámbrico disponible en el mercado tiene costos accesibles, resulta de interés poder introducir variantes y mejoras a los mismos, para su aplicación en estas áreas.

Se han propuesto los siguientes objetivos generales para el proyecto PID UTN 25/B024:

- Adaptar estándares y tecnologías de control de acceso al medio inalámbrico existentes, para su aplicación en sistemas de instrumentación y control.

- Desarrollar propuestas de nuevos mecanismos de control de acceso al medio, tratando de aprovechar elementos de las tecnologías existentes.

A su vez, se han propuesto los siguientes objetivos específicos:

- Explorar los estándares y tecnologías de control de acceso al medio inalámbrico existentes.

- Identificar sus fortalezas y debilidades con respecto al campo de aplicación bajo estudio.

- Proponer modificaciones a los mecanismos existentes o bien introducir nuevos, tratando de aprovechar y reutilizar elementos de las tecnologías existentes.

- Evaluar los modelos desarrollados mediante simulaciones y desarrollos experimentales.

Formación de Recursos Humanos

La formación de recursos humanos es una cuestión importante dentro del proyecto, con la finalidad de ir consolidando un grupo de investigadores, que impacten favorablemente en el resto de las actividades académicas de la carrera de Ingeniería Electrónica en la UTN-FRBB.

En tal sentido cabe mencionar que actualmente hay seis alumnos de grado participando activamente en las actividades del Grupo SiTIC. Asimismo, como actividad conexas al PID, hay también cuatro graduados realizando estudios de Magister, estando previsto que sus tesis sean dirigidas o codirigidas por integrantes del Grupo SiTIC.

Referencias

- [1] The Network Simulator- ns-2, April 28, 2007.
<<http://www.isi.edu/nsnam/ns/index.html>>
- [2] Willig A., Matheus K. and Wolisz A. "Wireless Technology in Industrial Networks", Proceedings of the IEEE, Vol. 93, No. 6 (June), pp. 1130-1151 (2005).
- [3] Hespanha J., Naghshtabrizi P. and Xu Y., "A Survey of Recent Results in Networked Control Systems", Proc. IEEE, Jan 2007, Vol. 95, pp: 138-162.
- [4] Rachana Ashok Gupta and Mo-Yuen Chow, "Networked Control System: Overview and Research Trends". IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 57, N°. 7, July 2010.
- [5] "IEEE Std 802.11; Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications", 1999, actualización: Junio (2007).
- [6] "IEEE Std 802.11e; Part 11: Wireless LAN MAC and Physical Layer (PHY) Specifications and Amendment 8: MAC Quality of Service Enhancements" (2005).
- [7] IEEE, Part 15.3 (2003) "Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications for High Rate Wireless Personal Area Networks (WPANs)", IEEE std 802.15.3 – 2003, Sept. 2003
- [8] "A Free-Collision MAC Proposal for 802.11 Networks", G. Friedrich, O. Alimenti y G. Reggiani, The 27th Brazilian Symposium on Computer Networks and Distributed Systems (SBRC) 2010 and 12th Brazilian Workshop on Real-Time and Embedded Systems (WTR 2010), Gramado, ISSN: 2177-496X, pp: 89-100 (cd) – May 24 -28, 2010, Brasil.
- [9] "Una Variante al Control de Acceso al Medio de 802.11e para Tiempo Real", G. Friedrich, O. Alimenti y G. Reggiani, XVII Congreso Internacional de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Sistemas - INTERCON 2010 (IEEE-UNAP) – 09 al 13 de agosto de 2010 – Puno – Perú
- [10] "WRTMAC: A MAC Proposal for 802.11 Networks in Factory Automation", G. Friedrich, O. Alimenti y G. Reggiani, 15th IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation – ETFA 2010 (UPV/EHU) ISBN: 978-1-4244-6849-2 – 13 al 16 de Setiembre de 2010 – Bilbao – España.
- [11] "Evaluación de una Variante de Control de Acceso al Medio Inalámbrico para Tiempo Real Basada en 802.11e", O. Alimenti, G. Friedrich, G. Reggiani, F. Maidana, S. Tonietti y D. Gomez de Marco, XVI Congreso Argentino de Ciencias de la Computación - CACIC 2010 – III Workshop de Arquitecturas, Redes y Sistemas Operativos (WARSO) 2010, pp, ISBN, en prensa, Buenos Aires, Argentina, 18 al 22 de octubre de 2010.
- [12] Wietholter S., Hoene C., "Design and Verification of an IEEE 802.11e EDCA", Technical Report TKN-03-19, November 2003, Berlin
- [13] www.routerboard.com
- [14] <http://wiki.debian.org/WiFi>
- [15] Li Gui, Yu-Chu Tian, Colin Fidge, "Performance Evaluation of IEEE 802.11 Wireless Networks for Real-time Networked Control Systems", Proceedings The 2007 International Conference on Embedded Systems and Applications, Monte Carlo Resort, Las Vegas, Nevada, USA.